



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Proposal of a Segmentation Algorithm using Multi-Sensor Fusion for Autonomous Driving in Snowy Environments [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	VACHMANUS, SIRAWICH
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15179号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/87187">https://hdl.handle.net/2115/87187</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	VACHMANUS_SIRAWICH_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 VACHMANUS SIRAWICH

審査担当者 主査 准教授 江丸 貴紀  
副査 教授 東藤 正浩  
副査 教授 梶原 逸朗  
副査 教授 近野 敦 (情報科学研究院)

## 学位論文題名

Proposal of a Segmentation Algorithm using Multi-Sensor Fusion for Autonomous Driving in Snowy Environments

(積雪環境における自律走行を目的としたマルチセンサフュージョンによるセグメンテーションアルゴリズムの提案)

現在、世界中で自動運転技術の研究開発が盛んに行われている。自動運転は車の走行に関する技術に加え、環境を認識するためのセンサ、膨大なデータを処理し適切な判断を下す AI、それらを統合するソフトウェアなど、複合的な技術や知見が必要である。しかしながら、これらの研究開発の多くが非積雪環境を対象としており、積雪・降雪環境を対象に行われているものはほぼ無い。また、近年日本において少子高齢化や労働力不足が人件費の高騰を招いている。札幌市のような豪雪地帯における除雪作業は交通インフラ維持のために必須だが、この人件費高騰の影響を大きく受けている。自動運転技術を積雪・降雪環境に対応させることによって除雪作業を支援、一部自動化することができれば、人件費を大きく削減することが期待できる。

以上のような問題を解決すべく、本論文では降雪環境を対象とした認識システムとして単一入力と複数入力の意味分割システムを提案した。本論文は全6章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景として札幌市で実施されている歩道除雪の概要と、現在までに行われている自動運転技術について述べ、その上で本研究の目的である降雪環境におけるマルチモーダル深層学習を用いた環境認識手法について、そのコンセプトと構成を述べている。一般的な自動運転で用いられているダイナミックマップ方式では、事前に準備された高精度な3次元地図を利用し、その地図上のどこに自車が存在するか(=自己位置推定)リアルタイムで求めることによって自動運転を実現している。しかしながら、雪上路では事前(非積雪環境)に作成した地図と実際の環境(積雪環境)の乖離が大きくなることから、既存の自己位置推定手法が機能しない。すなわち、雪上路においては周囲環境をセンシングすることによって走行可能領域をリアルタイムで認識しながら走行する必要がある。そこで本論文では、RGBカメラからのRGB画像とサーモグラフィから

の熱情報を用いたマルチモーダル RGB-T セマンティックセグメンテーションを新たに提案した。

第2章では研究背景と先行研究について詳細に述べている。本研究は深層学習の一手法であるセマンティックセグメンテーションに類するものであることから、コンピュータビジョン、深層学習などについて説明し、また関連する研究についてサーベイした。

第3章では、単一入力すなわち RGB 入力の場合について、提案するアルゴリズムの概要、ネットワークの学習および評価を行うためのデータセットの説明、さらにそれらを用いた学習とその結果について述べている。単一入力セグメンテーションでは、劣悪な環境でもロバストに動作するように、本来のネットワーク性能を向上させることができるピラミッド監視路を導入している。この提案手法を定量的に評価するために既存の SOTA である Mask R-CNN 等の手法と比較を行い、積雪環境を想定したデータセットで最も優れた性能を持つこと、さらには一般的な公開データセットによる評価において最も優れた性能を持つことを明らかにした。

第4章では第3章のネットワークを複数入力に拡張した場合について説明している。第3章と同様に、提案するアルゴリズムの概要、ネットワークの学習および評価を行うためのデータセットの説明、さらにそれらを用いた学習とその結果について述べている。複数入力セグメンテーションは、熱情報を第二の入力として利用し、デコーダとしてピラミッド監視パスも含んでいる。さらに、複数情報を組み合わせるための手法についても定量的に評価し、最適な組み合わせ手法を明らかにした。本提案手法をこれまで提案されている一般的な手法と定量的に比較することにより、降雪環境のデータセットにおいてロバストな人間検出能力と高い mIoU を示すことを明らかとした。すなわち融合モジュール、複数入力、ピラミッド監視パスを備えたネットワークは、降雪環境に対応した世界初の最先端ネットワークとなった。

第5章では第3章、第4章で提案した降雪環境を対象とした単一入力と複数入力の意味分割システムについて考察を行う。性能の面からこれまでに無い優れた認識能力を持つことは既に議論しているが、実際のアプリケーションに応用するためにはリアルタイム性が非常に重要である。そこで計算時間に関する評価を行うことにより、相対的な評価として他手法と同等の計算時間であること、さらにはその計算時間が十分なリアルタイム性を持つことを明らかにした。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を述べている。

これを要するに、著者は積雪環境下における自動運転技術を実現するための高性能な環境認識技術を提案したものであり、ロボット工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。